

Studi Perbandingan Dua Algoritma *Phase Unwrapping* (*Region Growing* dan *Minimum Cost Flow*) pada Teknik *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (INSAR) dalam Menghasilkan *Digital Surface Model* (DSM)

Jupi Nurul Azkiya
jupi.nurul.a@mail.ugm.ac.id

Retnadi Heru Jatmiko
retnadi_geougma@yahoo.com

Abstract

DSM (Digital Surface Model) is model digital of the earth's surface that represents a height of terrain including the height of the object above the earth such as vegetations and buildings. Data collection of DSM can be done with radar technology. InSAR technique utilizes phase difference information of two SAR images (Synthetic Aperture Radar) recorded at different positions. Phase unwrapping is the most challenging step in inSAR techniques, trying to eliminate 2π discontinuities in the interferogram (wrapped phase). The result of this process is unwrapped phase that will be converted to the height value of the earth's surface. Region growing (RG) and minimum cost flow (MCF) applied to this process. RMSEz of DSM RG is 20,496 meters, while the DSM MCF is 20,026 meters, with vertical accuracy of DSM RG is 40,175 meters and 39,250 meters for DSM MCF at 95% confidence level. Both of DSM below the vertical accuracy of the USGS standard received from Spaceborne insar i.e. 0.5 to 20 meters.

Key word : Phase, Phase Unwrapping, InSAR, DSM, vertical accuracy

Intisari

DSM (*Digital Surface Model*) merupakan model permukaan bumi digital yang menyajikan ketinggian medan bumi termasuk ketinggian objek diatasnya seperti vegetasi dan bangunan. Perolehan data DSM dapat dilakukan dengan teknologi radar. Teknik *INSAR* memanfaatkan informasi beda fasa dari dua citra *SAR (Synthetic Aperture Radar)* yang direkam pada posisi yang berbeda. *Phase unwrapping* merupakan langkah paling menantang dalam teknik *inSAR*, proses ini mencoba menghilangkan diskontinuitas 2π pada *interferogram (wrapped phase)*. Hasil proses ini adalah *unwrapped phase* yang nantinya akan dikonversi ke nilai ketinggian permukaan bumi. *Region growing* (RG) dan *minimum cost flow* (MCF) diterapkan pada proses ini. RMSEz dari DSM RG adalah 20,496 meter, sedangkan DSM MCF 20,026 meter dengan akurasi vertikal dari DSM RG adalah 40,175 meter dan 39,250 meter untuk DSM MCF pada tingkat kepercayaan 95%. Kedua DSM berada dibawah nilai akurasi vertikal dari standar USGS yang diterima dari *spaceborne InSAR* yaitu 0,5 – 20 meter.

Kata kunci : Fasa, Phase Unwrapping, InSAR, DSM, akurasi vertikal

I. PENDAHULUAN

Permukaan bumi yang digambarkan dalam bentuk tiga dimensi memerlukan data ketinggian (berdimensi tiga), agar dapat menghasilkan sesuatu yang terlihat lebih mendekati kenyataan sebenarnya dari bumi. Pemodelan permukaan bumi secara tiga dimensi dilakukan untuk membantu memudahkan analisis kajian kebumihan yang

berhubungan dengan topografi, seperti longsor dan deformasi permukaan.

DEM (*Digital Elevation Model*) adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari titik – titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan

permukaan tersebut menggunakan koordinat (Tempfli, 1991 dalam Purwanto 2008). DSM merupakan model permukaan digital yang merepresentasikan ketinggian medan permukaan bumi termasuk didalamnya kenampakan objek yang terdapat diatas permukaan seperti vegetasi dan bangunan. Sedangkan DTM merupakan model tinggi digital yang menggambarkan ketinggian medan permukaan bumi tanpa kenampakan objek yang ada diatasnya (*bare ground*).

Metode perolehan data ketinggian untuk pembuatan DEM (*Digital Elevation Model*) semakin berkembang dari yang awalnya dengan cara pengumpulan data ketinggian langsung di lapangan hingga perolehan data dengan bantuan teknologi satelit radar yang menghasilkan citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Pengumpulan data ketinggian langsung di lapangan dapat menghasilkan data yang akurat tetapi kurang dalam hal efisiensi biaya dan waktu. Berbeda dengan radar yang dapat menyajikan data yang kontinue melalui proses perekaman siang maupun malam di segala cuaca.

InSAR merupakan teknik untuk memperoleh informasi tiga dimensi (3D) dari permukaan bumi dengan berdasar pada perbedaan fasa di dua citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) yang direkam pada posisi yang berbeda (Kerle, 2004). Penyajian DSM dengan teknik inSAR ini membutuhkan dua citra yang berbeda secara spasial atau temporal, menjadikan banyak hal yang perlu diperhatikan yang berpengaruh terhadap akurasi DSM yaitu penentuan baseline (spasial maupun temporal) dari dua citra, registrasi citra dari dua citra yang digunakan (*master* dan *slave*), dan algoritma *phase unwrapping* yang digunakan dalam proses pengolahan inSAR.

Phase unwrapping merupakan proses yang sangat menentukan dalam inSAR. *Phase unwrapping* adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menghilangkan diskontinuitas 2π pada interferogram (*wrapped phasa*) (Karout, 2007).

Tidak ada algoritma *phase unwrapping* yang digunakan secara

sempurna untuk segala jenis data radar (Karout, 2007) dan untuk segala jenis topografi medan. Pada penelitian ini dipilih algoritma *region growing (RG)* karena algoritma ini dianggap dapat menghasilkan akurasi yang cukup baik dengan efisiensi waktu eksekusi yang tinggi (Sarmap, 2009). Sementara algoritma *minimum cost flow (MCF)* digunakan sebagai pembanding.

Berdasarkan uraian diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui kemampuan masing – masing algoritma *phase unwrapping (region growing* dan *minimum cost flow*) dalam proses inSAR dalam menghasilkan DSM dari citra PALSAR.

2. Membandingkan hasil DSM dari dua algoritma yang berbeda (*region growing* dan *minimum cost flow*) terhadap kondisi lapangan untuk mengetahui algoritma mana yang lebih baik dalam menghasilkan DSM.

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan pengetahuan dalam penggunaan data penginderaan jauh sistem aktif, khususnya inSAR dan pembentukan DSM.

Radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan penginderaan jauh sistem aktif yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik gelombang mikro dengan panjang gelombang antara 1 cm – 1 m (Kerle, 2004). Radar melakukan pengamatan ke samping (*side-looking*) dimana sinyal menyinari area permukaan bumi menyamping dari nadir. Dari pengamatan ke samping ini, dapat menyebabkan distorsi medan seperti *foreshortening*, *layover*, dan *shadow*.

Sistem SAR (*Synthetic Aperature Radar*) yaitu sistem dengan penggunaan antena yang pendek (sekitar 1 meter), tetapi pengoperasiannya memperhatikan gerakan wahana sepanjang lintasan, mentransformasi -kan antena tunggal menjadi rangkaian antena yang cukup panjang secara matematik, sebagai bagian perekaman data dan teknik pengolahan (Schrier, 1996 dalam Ismullah, 2004).

Citra SAR merupakan citra kompleks yang setiap pikselnya mempunyai harga

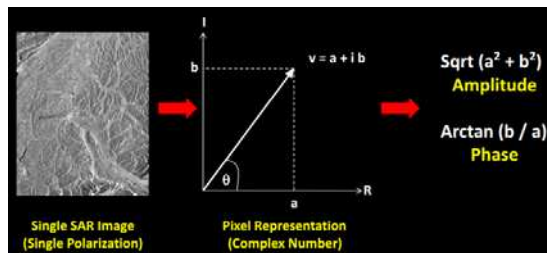
dalam bilangan kompleks (Ismullah, 2004). Suatu citra SAR merupakan kombinasi dari amplitudo dan fasa dalam bentuk bilangan kompleks,

$$C = a.e^{j\phi}$$

Dimana C = citra SAR

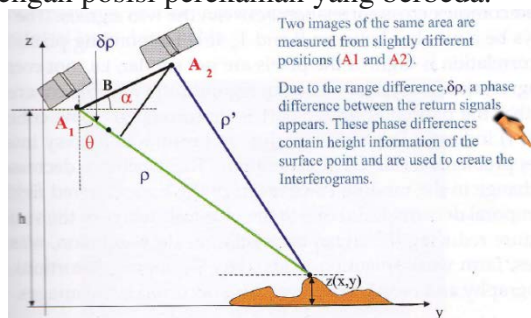
$$j = \sqrt{-1}$$

a = amplitudo ϕ = fasa



Gambar 1.1 Piksel pada citra SAR (Bandara dalam Microvawe Remote Sensing, SAR Interferometry)

Prinsip inSAR berusaha menghitung fasa gelombang radar pada gabungan dua citra SAR yang merekam daerah yang sama dengan posisi perekaman yang berbeda.



Gambar 1.2 Prinsip InSAR (Kerle, 2004)

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam mengolah citra radar dengan teknik inSAR dimulai dari tahap persiapan data, tahap pengolahan inSAR yang terdiri dari beberapa langkah, dan tahap validasi DSM hasil untuk mengetahui kualitas DSM yang dihasilkan dengan proses inSAR ini.

Tahap persiapan data dimulai dari proses focusing, estimasi baseline, dan pemotongan citra daerah kajian. Focusing bermaksud untuk mengolah data mentah PALSAR menjadi format SLC (*Single Look Complex*). Estimasi baseline dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari dua citra

Fasa sendiri merupakan kondisi oksilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang setiap 2π (Ismullah, 2004). Jumlah fasa dalam setiap pemancaran gelombang dapat dihitung dari jarak pemancar ke objek dibagi dengan panjang gelombang yang digunakan.

$$\phi = \frac{4\pi dR}{\lambda}$$

dimana ϕ = beda fasa

dR = selisih jarak dari objek - sensor

λ = panjang gelombang

Satelit ALOS (*Advanced Land Observation Satellite*) diluncurkan pada 24 Januari 2006. ALOS memiliki tiga sensor yaitu PRISM, AVNIR dan PALSAR. Sensor PALSAR merupakan sensor radar yang mampu merekam pada segala cuaca baik di siang maupun malam hari. PALSAR mengorbit secara *sun-synchronous* dengan sudut inklinasi $98,16^\circ$ dan ketinggian 691,65 km dari permukaan bumi dengan pengulangan setiap 46 hari. PALSAR menggunakan band L dengan panjang gelombang 23,6 cm. Citra PALSAR dengan pengulangan setiap 46 hari ini dapat digunakan dalam proses inSAR untuk mendapatkan model permukaan digital (DSM) area yang terekam citra tersebut.

(*master* dan *slave*) yang digunakan untuk proses interferometri. Dan pemotongan citra dilakukan untuk memotong daerah kajian penelitian yang tercakup dalam pasangan masing – masing citra PALSAR yang telah dipilih untuk proses interferometri.

Tahap pengolahan inSAR terdiri dari beberapa proses yaitu pembentukan interferogram dan flattening, pemfilteran dan pembentukan koherensi, phase unwrapping, orbital refinement, dan terakhir konversi fasa ke nilai tinggi dan geocoding.

Pembentukan interferogram adalah proses mendapatkan info fasa dan amplitudo

dari dua SLC yg bertampalan dan berkorelasi jelas. Interferogram dibentuk melalui hasil perkalian silang antara *master* dan *slave* yang diketahui melalui hubungan berikut (Ismullah, 2004) :

$$I = C_1.C_2^* = a_1.a_2.e^{j(\phi_1-\phi_2)}$$

Dimana I = interferogram,

C_1 = bilangan kompleks *master*

C_2 = bialangan kompleks *slave*

* adalah kompleks konjugasi.

Interferogram berisi beda fasa interferometrik yang mengandung informasi fasa flat earth, fasa topografi, fasa objek, fasa deformasi, fasa atmosfer, dan fasa noise.

$$\phi = \phi_{\text{flat earth}} + \phi_{\text{topografi}} + \phi_{\text{deformasi}} + \phi_{\text{atmosfer}} + \phi_{\text{noise}}$$

Fasa flat earth dihilangkan melalui proses flattening, fasa deformasi dianggap tidak ada, fasa atmosfer dapat diabaikan, dan fasa noise dihilangkan dengan pemfilteran.

Pembentukan koherensi dilakukan melalui hubungan sebagai berikut (Hartl, 1996 dalam Ismullah 2004) :

$$\gamma = \frac{|\sum C_1.C_2^*|}{\sqrt{\sum C_1.C_2^* \sum C_1.C_2^*}}$$

Dimana $C_1.C_2^* = a_1.a_2.e^{j(\phi_1-\phi_2)}$

Koherensi menunjukkan derajat kemiripan 2 citra dan kualitas interferogram. Nilai koherensi berkisar antara $0 \leq \gamma \leq 1$. Nilai minimum koherensi untuk pembentukan Model Tinggi Permukaan Dijital adalah 0,20 (ESA, 2007).

Proses *phase unwrapping* berupa proses penambahan atau pengurangan fasa relatif dengan 2π atau kelipatannya pada tempat – tempat yang sesuai untuk membuat citra fasa sebaik mungkin. Berikut persamaan untuk mendapatkan fasa absolut (Ismullah, 2004) :

$$\phi_{\text{absolut}} = \phi_{\text{relatif}} + 2\pi.N$$

dimana N adalah ambiguitas fasa

Dua algoritma *phase unwrapping* *Region Growing* dan *Minimum Cost Flow* digunakan untuk menyelesaikan masalah ambiguitas fasa pada penelitian ini.

Proses orbital refinement dilakukan untuk mengoptimalkan orbit satelit agar lebih akurat lagi. Orbital refinement dikatakan berhasil dihasilkan nilai RMSE antara 2 – 10 meter (Sarmap, 2009).

Proses terakhir yaitu konversi fasa absolute ke nilai tinggi diikuti dengan geocoding agar DSM yang dihasilkan memiliki referensi koordinat tertentu. Konversi fasa absolute menjadi tinggi dengan rumus berikut (Ismullah, 2004) :

$$dh = \frac{\lambda R \sin \theta}{4\pi B_{\text{perp}}} d\phi$$

keterangan

dh : tinggi permukaan

B_{perp} : baseline perpendicular

R : jarak sensor ke objek

λ : panjang gelombang

θ : incidence angle

$d\phi$: beda fasa

Tahap validasi DSM hasil teknik inSAR dilakukan melalui uji visual dan matematis. Uji visual dilakukan dengan membandingkan DSM dengan permukaan bumi sebenarnya di lapangan apakah mirip. Uji matematis yaitu dengan metode RMSE, yang membandingkan nilai posisi dan ketinggian pada DSM (X Y Z) dengan nilai koordinat posisi dan ketinggian “sebenarnya” (Sutanta, 2007).

$$RMSE_{X,Y,Z} = \sqrt{\frac{\sum (X,Y,Z \text{ referensi } i - X,Y,Z \text{ dsm } i)^2}{n}}$$

Keterangan :

$RMSE_{X,Y,Z}$: nilai $RMSE$ horizontal (X,Y) dan vertikal (Z)

$X,Y,Z \text{ referensi } i$: nilai posisi (X Y) dan ketinggian (Z) pada titik cek ke i pada referensi

$X,Y,Z \text{ dsm } i$: nilai posisi (X Y) dan ketinggian Z titik cek ke i pada DEM

n : jumlah titik cek

Tabel 2.1 Faktor Pengali σ untuk Berbagai Tingkat Kepercayaan

Tingkat Kepercayaan	Faktor Pengali
50 %	0,6745
90 %	1,6449
95 %	1,960
99 %	2,576
99,7 %	2,965
99,9 %	3,29

Sumber : Wolf , 1997 dalam Marentika, 2012

$$Accuracy_{(X,Y,Z)} = E \times RMSE_{X,Y,Z}$$

Keterangan

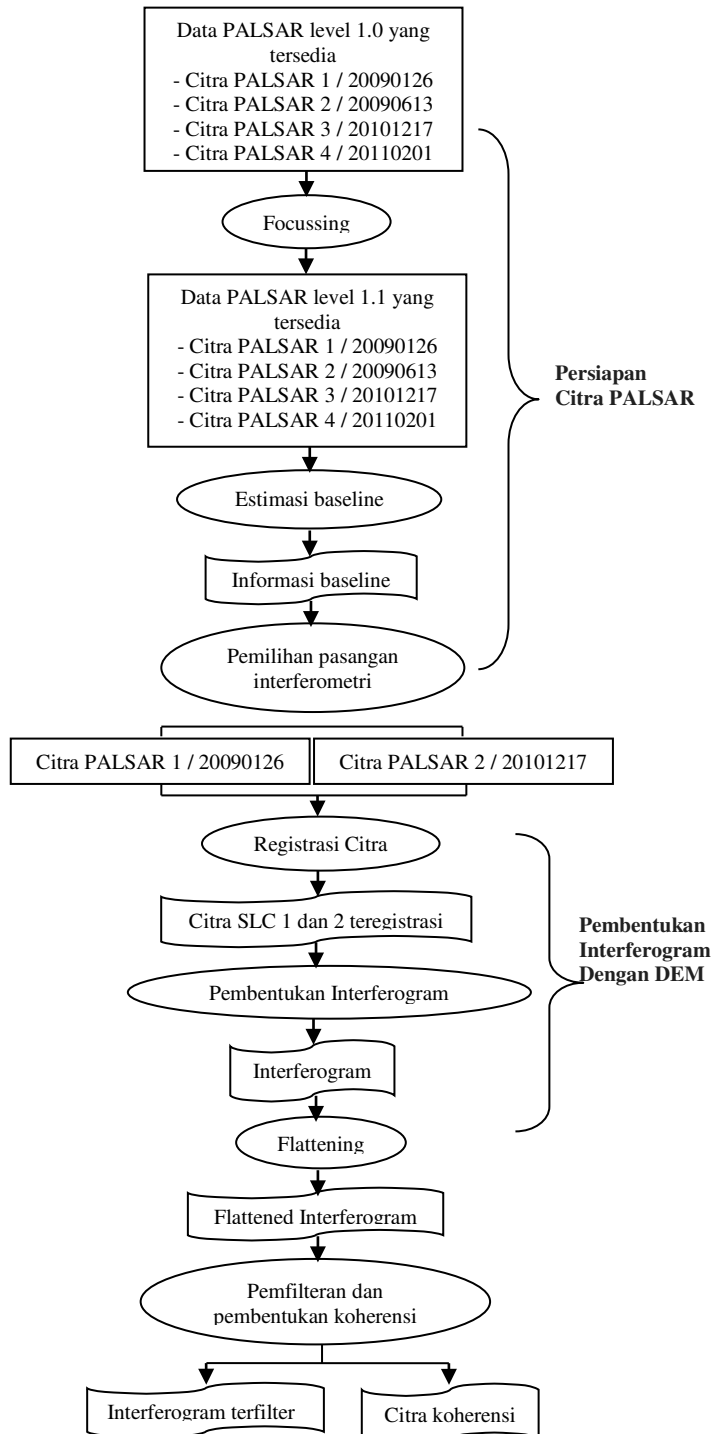
$Accuracy$: akurasi DSM (Z)

$RMSE_Z$: nilai $RMSE$ Z

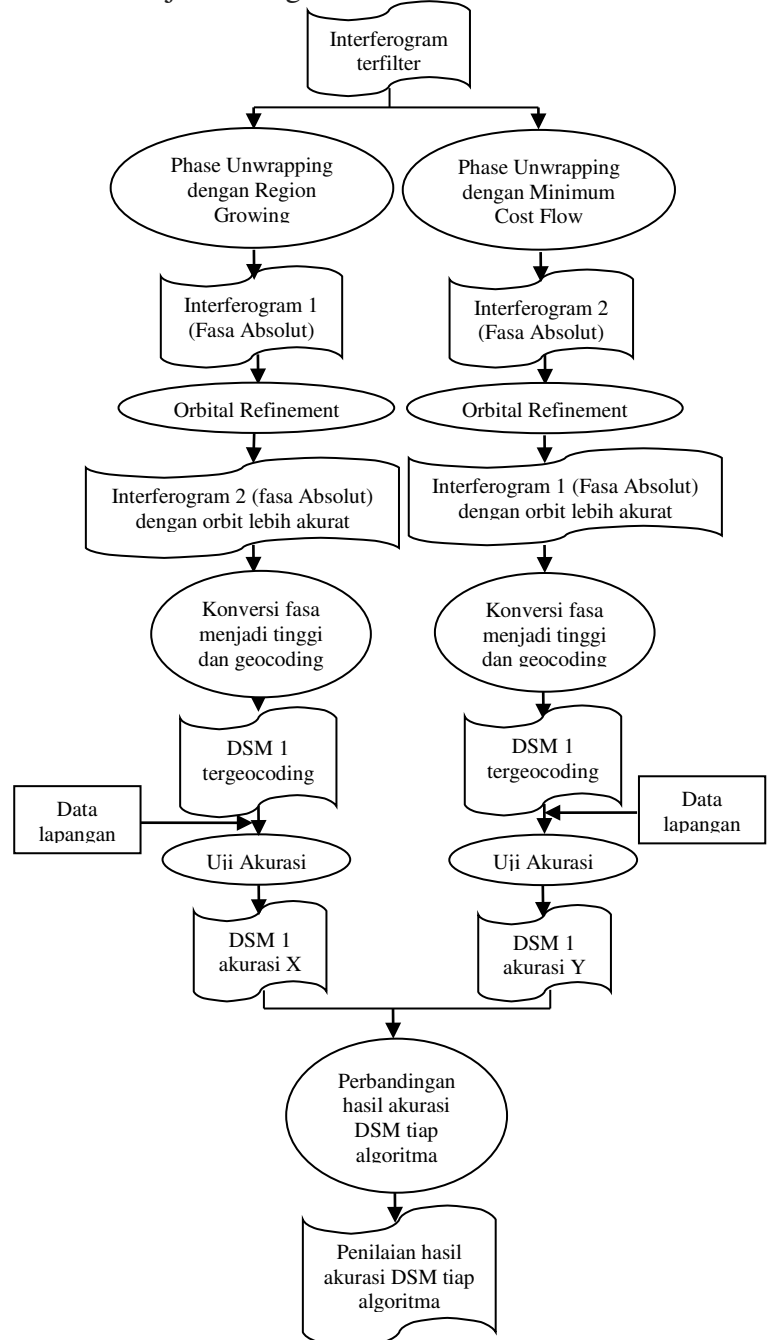
E : faktor pengali σ pada suatu tingkat kepercayaan

Sesuai standar NSSDA, akurasi vertikal suatu data DSM ditentukan pada tingkat kepercayaan 95%. Tahap penilaian hasil dilakukan dengan membandingkan

nilai $RMSE$ dan akurasi antara DSM dari phase unwrapping Region Growing dan DSM dari Minimum Cost Flow. Tahap penilaian juga dilakukan dengan membandingkan $RMSE$ dengan standar akurasi dari USGS (Sefercik, 2013) yang menyatakan akurasi vertikal dari *spaceborne InSAR* yang dapat diterima yaitu antara 0,5 m – 20 m.



Lanjutan Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

III. DAERAH PENELITIAN

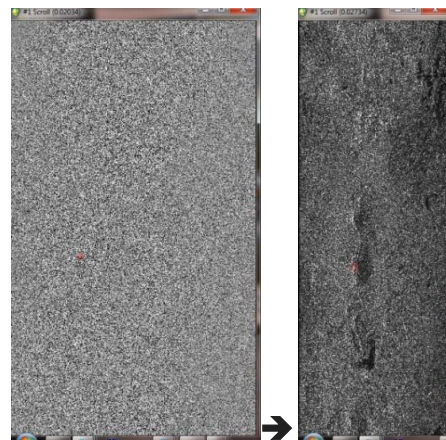
Daerah penelitian berada pada koordinat 429000 mT – 447000 mT dan 9131000 mU – 9146000 mU dengan luas 190 km², yang meliputi wilayah Kabupaten Sleman (Kecamatan Mlati, Depok, Kalasan, Berbah, Prambanan), Kota Jogja (Kecamatan Tegalrejo, Jetis, Gedongtengen, Danurejan, Gondokusuman, Pakualaman, Gondomanan, Kotagedhe, Mergangsan, Umbulharjo, dan Kraton), dan Kabupaten Bantul (Kecamatan Piyungan dan Banguntapan).

Daerah penelitian memiliki topografi yang datar dan berbukit. Topografi datar berada di hampir seluruh area kajian kecuali Kecamatan Prambanan yang sebagian wilayahnya berbukit. Penutup lahan di daerah berupa berupa bangunan dan vegetasi yang tersebar merata. Bangunan (permukiman dan gedung paling besar berada di Kota Jogja, sedangkan vegetasi di Sleman dan Bantul.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra PALSAR agar dapat digunakan untuk pemrosesan teknik inSAR harus dalam format SLC (*Single Look Complex*) dimana format ini mengandung informasi berupa amplitudo dan fasa (yang dibutuhkan untuk pengolahan inSAR).

Tahap persiapan data dimulai dari proses focusing yaitu proses konversi citra radar dari data mentah ke data SLC. Pada data mentah citra radar, energi sinyal dari tiap titik target (objek) menyebar di arah *range* dan *azimut* citra. Kenampakan objek yang terekam sensor berupa titik – titik berwarna hitam, putih, abu – abu. Sedangkan data format SLC, sudah terlihat kenampakan permukaan bumi, hanya saja masih dalam geometri slant range.



Gambar 4.1 Citra PALSAR data mentah (kiri) dan SLC (kanan) (Pengolahan Citra, 2014)

Tabel 4.1 Informasi baseline citra PALSAR (Pengolahan Citra, 2014)

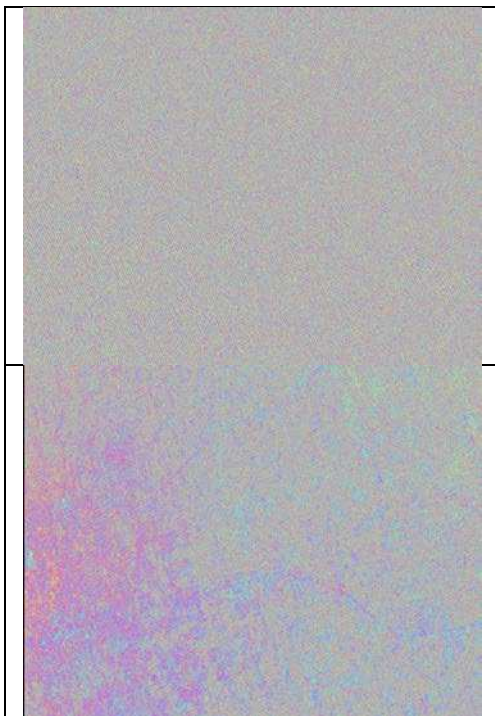
Pasangan Citra (Tanggal)	Temporal Baseline (hari)	Normal Baseline (m)	Critical Baseline (m)	2π Ambiguity Height (m)	Range Shift (piksel)	Azimuth Shift (piksel)	Doppler Centroid Differences	Critical Doppler Centroid Differences
20090126 - 20090613	138	445,876	13149,151	144,537	2361,952	-4683,812	-2,722	2145,923
20090126 - 20101217	690	1412,221	13149,151	45,634	-82,677	-138,197	5,628	2145,923
20090126 - 20110201	736	1407,277	13149,151	45,795	2361,520	-4862,263	29,636	2145,923
20090613 - 20101217	552	969,801	6384,734	66,531	-2455,170	4548,147	8,351	2145,923
20090613 - 20110201	598	969,647	6584,734	66,541	-1,481	-176,618	32,359	2145,923

Informasi baseline dihasilkan dari 6 pasang citra yang dibentuk dari 4 citra PALSAR yang tersedia. Parameter pertama yang perlu diperhatikan dalam menentukan pasangan citra yang akan digunakan agar dapat menghasilkan DSM dengan kualitas optimal yaitu nilai

ambiguitas 2π (Ha), mengingat besar kecilnya nilai Ha mempengaruhi sensitifitas terhadap perubahan topografi. Artinya, semakin rendah nilai Ha, semakin detil atau jelas perubahan topografi yang terlihat. Nilai Ha yang dipilih, sebaiknya yang memiliki nilai yang rendah.

Parameter kedua yaitu nilai baseline normal, dipilih nilai baseline normal yang tidak terlalu pendek dan tidak mendekati nilai baseline kritis. Untuk citra PALSAR belum ada informasi mengenai nilai baseline normal optimal yang dapat menghasilkan DSM dengan akurasi baik, lain halnya dengan citra ERS yang telah diketahui nilai baseline optimal dalam menghasilkan DSM dengan akurasi tinggi yaitu sebesar 200 – 300 meter (ESA, 2007). Parameter ketiga yaitu baseline temporal. Sebaiknya memilih citra dengan resolusi terendah untuk mengurangi adanya dekorelasi citra secara temporal. Musim saat perekaman juga perlu diperhatikan. Sebaiknya memilih citra yang direkam pada musim yang sama dengan pertimbangan bahwa kondisi atmosfer yang sama, sehingga dapat meminimalkan pengaruh atmosfer yang dapat menyebabkan dekorelasi. Dengan mempertimbangkan ketiga hal tersebut dan melihat faktor ketersediaan data yang ada, maka dipilihlah pasangan citra kedua sebagai pasangan yang dianggap paling sesuai untuk pemrosesan insar agar menghasilkan DSM kualitas optimal.

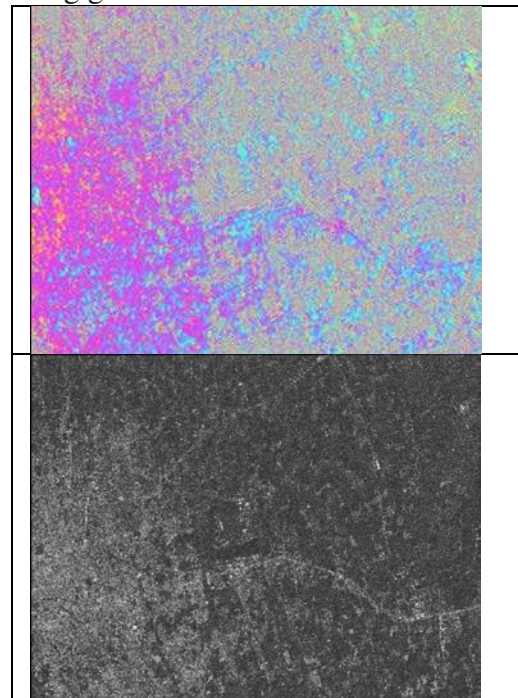
Area kajian dipilih hanya pada sebagian kecil citra PALSAR. Hal ini dilakukan untuk mengurangi waktu pemrosesan, beban komputer, dan memori komputer ketika dilangsungkan pemrosesan terhadap citra yang digunakan.



Gambar 4.2 Interferogram dan Flattened interferogram (Pengolahan Citra, 2014)

Proses pembentukan interferogram dan flattening menghasilkan interferogram dan flattened interferogram. Interferogram dengan beda fasa yang dipresentasikan dengan pola fringe yang bergaris lurus yang merupakan hasil dari interferensi gelombang radar yang koheren. Sedangkan untuk flattened interferogram diturunkan dari interferogram, dimana pada interferogram terjadi pengurangan fasa flat earth (fasa dimana bumi dianggap sebagai bidang datar dengan referensi ellipsoid). Fringe flattened interferogram mengikuti ketinggian permukaan.

Fringe gambar 4.2 menyajikan beda fasa yang terlihat kabur dikarenakan adanya banyak noise akibat adanya dekorelasi. Noise dapat dihilangkan melalui proses pemfilteran. Flattened interferogram (gambar 4.3) menyajikan gambar fringe yang lebih jelas dibanding gambar 4.2.

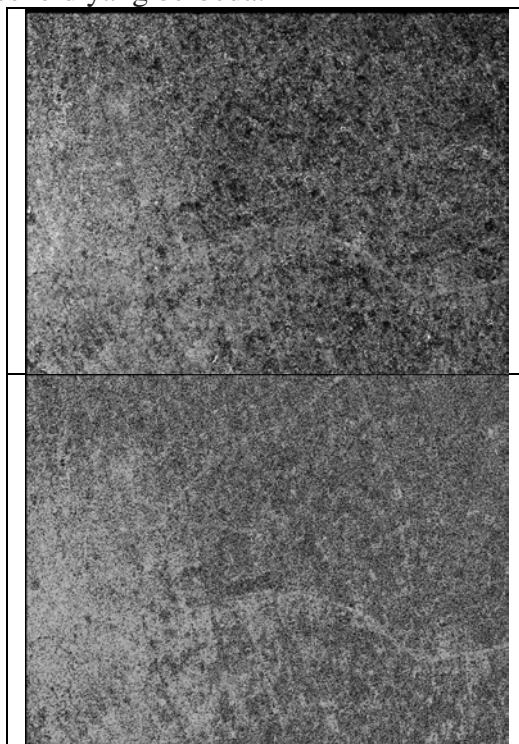


Gambar 4.3 Flattened interferogram terfilter (atas) dan citra koherensi (bawah) (Pengolahan Citra, 2014)

Citra koherensi juga dihasilkan pada langkah pemfilteran dan pembentukan koherensi. Koherensi yang didapat berkisar antara 0,000186 – 0,991776 dengan mean 0,33. Menurut Tran et al., 2007 dalam Sefercik 2013, interferogram dengan nilai koherensi baik, berarti 50% pikselnya memiliki nilai koherensi diatas 0,8. Berdasarkan kriteria ini berarti interferogram yang dihasilkan pada pasangan citra interferometrik yang dipilih termasuk pada

interferogram berkoherensi rendah. Yang menyebabkan rendahnya koherensi dari pasangan citra yang dipilih yaitu jeda waktu perekaman kedua citra yang lama yaitu 690 hari. Pada rentang waktu yang lama ini dimungkinkan telah terjadi perubahan yang cukup signifikan pada area kajian. Pergerakan vegetasi baik karena angin atau pertumbuhannya dan kontruksi bangunan yang dapat mengubah bentuk atau tingginya menjadi penyebab utama dekorelasi temporal. Selain itu, juga adanya distorsi medan pada objek yang tinggi seperti bangunan atau bukit. Terlebih lagi, sebagian besar area kajian berupa area permukiman padat dan area dengan penutup lahan vegetasi.

Proses phase unwrapping dilakukan dengan menerapkan nilai threshold koherensi 0,25 dan level dekomposisi 3 agar tidak menimbulkan error. Area dengan koherensi rendah dapat *error* pada citra hasil phase unwrapping, sehingga pada proses ini diperlukan percobaan berulang dengan pengaturan threshold yang berbeda.



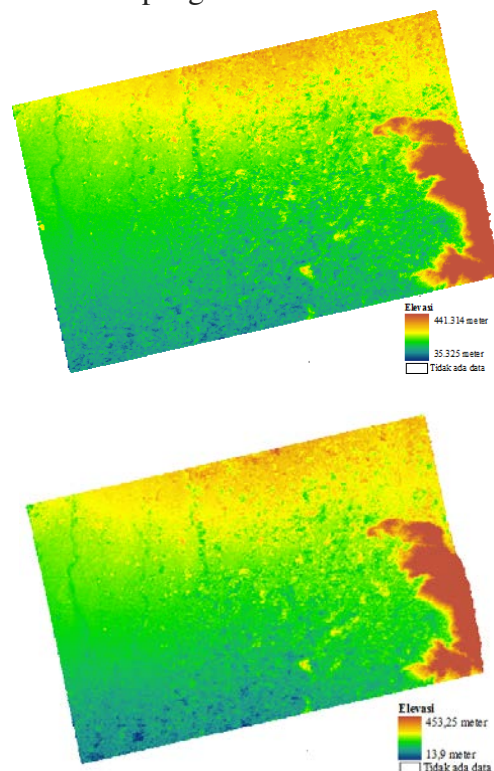
Gambar 4.4 Citra *unwrapped fasa* dari RG (atas) dan MCF (bawah) (Pengolahan citra, 2014)

Proses *phase unwrapping* dilakukan dengan algoritma *phase unwrapping* yang berbeda yaitu *Region Growing* (RG) dan *Minimum Cost Flow* (MCF). Agar hasil nantinya dapat dibandingkan, semua dilakukan melalui proses yang sama dari proses awal hingga akhir, yang berbeda hanya jenis proses unwrapping

yang menggunakan jenis algoritma yang berbeda yaitu RG dan MCF. Secara visual, kedua citra *unwrapped phase* ini terlihat sama, tetapi secara statistik berbeda. Nilai fasa absolut yang dihasilkan dengan RG berkisar $(-9,487\pi \text{ rad}) - (9,619\pi \text{ rad})$ dan $(-3,927\pi \text{ rad}) - (19,553\pi)$ untuk MCF.

Proses orbital refinement yang dilakukan pada penelitian ini berhasil dengan perolehan RMSE 4,439 meter untuk RG, dan 4,958 meter, untuk MCF. Berhasilnya proses ini, mengakibatkan citra yang dihasilkan sebelum proses ini, direkonstruksi kembali dengan mempertimbangkan orbit yang lebih akurat.

Langkah terakhir yaitu proses konversi fasa menjadi tinggi dan geocoding. Nilai ketinggian permukaan disajikan dengan gradasi warna. DSM hasil direferensikan ke datum WGS 84 zona 49 South dengan ukuran piksel sebesar 10 meter. WGS 84 merupakan datum untuk parameter orbit satelit atau untuk vertical spheroid. Area kajian berada pada zona 49 South. DSM dengan ukuran piksel 10 meter ini berarti tiap piksel DSM menyajikan nilai ketinggian rata – rata dari area dengan luasan 10 x 10 meter di lapangan.



Gambar 4.5 DSM RG (atas) dan DSM MCF (bawah) (Pengolahan citra, 2014)

Validasi DSM secara matematis dilakukan dengan membandingkan nilai posisi dan ketinggian permukaan di lapangan dan di

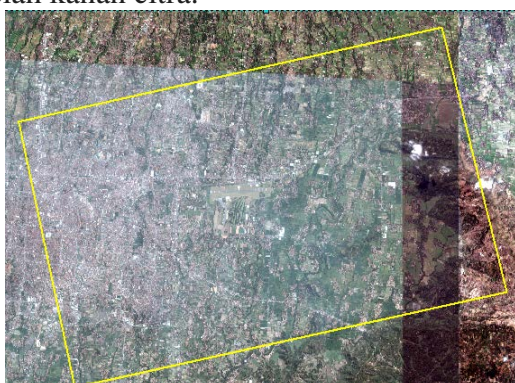
DSM. Sampel lapangan yang digunakan yaitu 150 sampel yang diambil dengan bantuan GPS handheld untuk posisi dan ketinggian medan dan distometer untuk ketinggian objek. RMSE dihasilkan dengan menghitung akar kuadrat dari perbedaan tinggi antara permukaan DSM dengan permukaan bumi di lapangan. Sedangkan akurasi kedua DSM didapat dari nilai $RMSE_{X,Y,Z}$ yang dikalikan dengan faktor pengali pada tingkat kepercayaan 95% (sesuai dengan standar akurasi NSSDA, 1998).

Tabel IV.2 Tabel RMSE dan akurasi vertikal pada tingkat kepercayaan 95%

	RMSE (meter)			Akurasi (meter)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
DSM RG	5,352	5,055	20,497	10,490	9,908	40,175
DSM MCF	5,352	5,055	20,026	10,490	9,908	39,250

Sumber : Pengolahan data lapangan, 2014

Uji visual DSM dilakukan dengan cara membandingkan bentuk permukaan DSM dengan bentuk permukaan bumi asli secara kualitatif, apakah mirip atau tidak. Disini, DSM dibandingkan dengan citra resolusi tinggi pada area kajian. DSM digambarkan dengan warna gradasi yang mewakili ketinggian permukaan bumi yang disajikan untuk melihat perubahan ketinggiannya. Jika dilihat pada DSM tersebut, ketinggian area kajian semakin ke arah utara dan timur semakin tinggi, terlebih pada sisi sebelah kanan atau timur area kajian yang merupakan perbukitan. Sedangkan pada citra resolusi tinggi juga terlihat jelas adanya area yang berbukit di sebelah kanan citra.

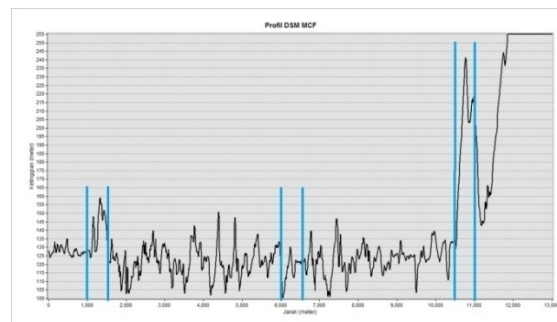
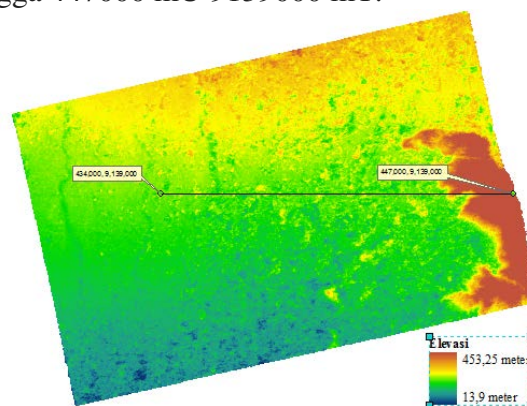


Gambar 4.6 Citra Quickbird daerah penelitian

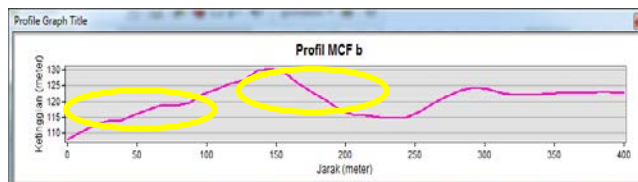
Kedua DSM yang dihasilkan melalui proses insar terlihat adanya kenampakan tidak wajar berupa benjolan – benjolan kecil yang terlihat pada area datar. Benjolan ini diindikasikan diakibatkan oleh kehadiran noise (Sefercik, 2013) yang membuat hasil ketinggian DSM tidak seperti ketinggian pada kenampakan

lapangan. Area dengan kenampakan benjolan ini dapat pula berupa objek bangunan yang besar yang luasnya lebih besar dari luasan piksel DSM yang digunakan yaitu 10 meter.

Selain menggunakan gradasi warna, digunakan pula *terrain profile*. Profil merupakan penampang melintang dari suatu permukaan bumi. Profil dibuat dari arah barat ke timur yang melewati permukaan yang datar hingga berbukit dimulai dari koordinat 434000 mU 9139000 mT hingga 447000 mU 9139000 mT.



Gambar 4.7 Profil DSM MCF (Pengolahan Citra, 2014)



Gambar IV. Profil detail MCF (Pengolahan data spasial, 2014)

Secara umum, DSM MCF melalui profil, terlihat mirip dengan keadaan lapangan. Namun jika dilihat profilnya secara detail, ada beberapa bagian di daerah kajian yang menawarkan profil dengan beda tinggi yang tidak sama dengan

keadaan di citra resolusi tinggi tersebut, misal sawah dengan topografi medan datar, tetapi pada profil detail ini terlihat memiliki beda tinggi yang yaitu sekitar 15 meter.

Penilaian hasil DSM dengan menggunakan algoritma phase unwrapping yang berbeda, dimana semua proses untuk menghasilkan DSM dan sampel yang digunakan sama, dapat disimpulkan bahwa DSM dengan algoritma MCF lebih baik dibandingkan dengan algoritma RG, didukung dengan nilai RMSE DSM MCF yang nilainya lebih rendah dan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan DSM RG.

Meskipun dengan akurasi yang berbeda antara kedua DSM dimana MCF lebih baik,

V. KESIMPULAN

1. Kualitas DSM RG dan DSM MCF diukur melalui RMSE dan akurasi vertikal pada confidence level 95% yang masing – masing nilainya yaitu 21,033 meter dan 41,225 meter untuk DSM RG, dan 20,630 meter dan 40,239 meter untuk DSM MCF.

2. Algoritma MCF dinyatakan lebih baik dalam menghasilkan DSM dibanding dengan algoritma RG yang dinyatakan dengan nilai RMSE yang lebih rendah dan akurasi vertikal lebih tinggi. DSM RG dan MCF tidak masuk dalam standar akurasi vertikal dari USGS.

VI. DAFTAR PUSTAKA

European Space Agency (ESA). 2007. *Information On ALOS PALSAR for ADEN Users*. Netherlands : ESA.

European Space Agency (ESA). 2007. *InSAR Principles : Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*. Netherlands : ESA.

Ismullah, Ishak Hanafiah. 2004. *Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Digital (DEM) pada Radar Apertur Sintetik Interferometri (InSAR) Data Satelit*. PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 36 A, No. 1, 2004, halaman 11 – 32.

kedua DSM ini tidak memenuhi standar akurasi dari USGS untuk DSM hasil pemrosesan insar dari data satelit yang nilai akurasi vertikal antara 0,5 – 20 meter. Menurut standar akurasi ini, kedua DSM tersebut memiliki RMSE yang rendah.

Rendahnya nilai akurasi yang didapat dari DSM baik RG atau MCF, dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain pemilihan pasangan citra interferometri (baseline temporal, baseline spasial), pengolahan DSM inSAR (koherensi, ukuran piksel DSM, distorsi medan), dan data lapangan (kualitas sampel, sebaran sampel, dan selisih pengambilan citra dengan waktu lapangan)

Karout, Salah. 2007. *Two-Dimensional Phase Unwrapping*. Tesis. England : General Engineering Research Institute (GERI), Liverpool John Moores University.

Kerle, Norman, Lucas L.F. Janssen, Gerric C. (eds). 2004. *Principles Of Remote Sensing*. Enschede : ITC.

Marentika, Rendy Putra. 2012. *Pemrograman ‘Virtual Stereoplotter’ sebagai Program Spasial Penghasil Digital Surface Model dari Foto Udara Stereo Digital*. Skripsi. Yogyakarta : Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Purwanto, Taufik Hery. 2009. *Analyst Digital Elevation Model*. Modul Kuliah. Fakultas Geografi UGM.

Sarmap, 2009. *Synthetic Aperture Radar and SARscape*. Pearl East Circle, Boulder CO, USA.

Sefercik, Umut Güneş. 2013. *Productivity of TerraSAR-X 3D In Urban Areas : A Case Study In Trento*. European Journal of Remote Sensing – 2013, 46:597-612.

Sutanta, Heri. 2007. *Kualitas dan Uji Ketelitian Model Tinggi Digital*. Materi Kuliah. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, UGM.